

# Cuencas emergentes - Potencial hidrocarburífero de los reservorios carbonatados del Jurásico y Paleozoico en la Faja Subandina Peruana

## Emergin basins - Hydrocarbon potential of the carbonate reservoirs of the Jurassic & Paleozoic in the Peruvian Subandean Basin

Marco Antonio Vásquez Flores<sup>1</sup>

RECIBIDO: 23/09/2015 - APROBADO: 30/06/2016

### RESUMEN

Las rocas carbonatadas en el mundo producen cerca del 60% del consumo mundial de hidrocarburos, la mayor producción de estos reservorios provienen del Medio Oriente; nosotros en el Perú producimos de areniscas que pertenecen al grupo de rocas clásticas que históricamente en el mundo fueron los objetivos que almacenaban los hidrocarburos.

Este estudio tiene como objetivo proponer nuevos reservorios en rocas carbonatadas para explorar por hidrocarburos en el Perú, delimitar los lugares donde se han depositado los mayores espesores y las áreas dentro del territorio peruano; los grupos Copacabana y Tarma pertenecientes al Paleozoico y el grupo Pucará perteneciente al Mesozoico son los dos grandes depósitos de carbonatos de mayor distribución en el país.

Los grupos Copacabana – Tarma tienen una distribución areal que abarca casi todo el Perú e incluye Ecuador, Brasil, Colombia, Bolivia y el norte de Chile, estos carbonatos que pertenecen a un ambiente de depósito de mar abierto, alimentado por el mar Panthalassico que corresponde a la época que el continente estaba unido con África y América del Norte, en el Perú lo encontramos distribuido a lo largo de la Cordillera Andina y en el subandino en toda la zona de selva desde Loreto hasta Madre de Dios, incluyendo las cuencas prospectivas por hidrocarburos de Madre de Dios y Ucayali donde se encuentra soterrado y que podría ser explorado.

El Grupo Pucará tiene una distribución areal que abarca la zona central y norte de la cordillera andina y la parte occidental del subandino de la selva de Ucayali y Loreto que incluye las cuencas Ucayali y Marañón donde se encuentra soterrado y con posibilidades de ser explorado por hidrocarburos.

Estas cuencas con potencial para explorar por hidrocarburos en estos reservorios propuestos son nuevos y por eso son considerados nuevas cuencas emergentes para hidrocarburos del Paleozoico y Jurásico.

**Palabras clave:** Carbonatos, Grupo Tarma, Grupo Copacabana, Grupo Pucara, paleozoico, jurásico, ambiente de depósito, petrofísica, geofísica.

### ABSTRACT

The carbonate rocks in the world produce about 60% of world oil consumption, the increased production of these reservoirs from the Middle East; we produce in Peru sandstones belonging to the group of clastic rocks in the world that historically were the goals stored hydrocarbons.

This study aims to propose new reservoirs in carbonate rocks to explore for hydrocarbons in Peru, define places where the deposit of greater thicknesses and areas within the Peruvian territory; the Copacabana and Tarma groups belonging to Paleozoic and Mesozoic Pucara belonging to the group are the two large deposits of carbonates greater distribution in the country.

<sup>1</sup> Docente de la Escuela de Ingeniería Geológica - Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica - Universidad Nacional Mayor de San Marcos. E-mail: [marco.vasquez@unmsm.edu.pe](mailto:marco.vasquez@unmsm.edu.pe)

The Copacabana groups - Tarma have an areal distribution covering most of Peru and includes Ecuador, Brazil, Colombia, Bolivia and northern Chile, these carbonates belonging to a depositional environment of open sea, fed by the Panthalassic sea corresponding to the time that the continent was united with Africa and North America, in Peru we found distributed along the Andean Cordillera and the subandean throughout the area of forest from Loreto to Madre de Dios, including prospective basins by hydrocarbons Madre de Dios and Ucayali where it is buried and could be explored.

The Pucara Group has an areal distribution covering the central and northern Andes and the western part of subandean Jungle Ucayali and Loreto including the Ucayali and Marañon basins where it is buried and possibilities to be explored by oil.

These basins with potential to explore for hydrocarbons in these proposed reservoirs are new and are therefore considered emerging hydrocarbon basins of Paleozoic and Jurassic.

**Keywords:** Carbonates, Tarma Group, Copacabana Group, Pucara Group, Paleozoic, jurassic, depositional environment, petrophysical, geophysics.

## I. INTRODUCCIÓN

Los carbonatos en el mundo albergan una gran cantidad de hidrocarburos, sin embargo, en nuestro ámbito muchas veces son mal entendidos por las interrelaciones complicadas o la casi no existencia de porosidad, la permeabilidad y otras propiedades de los yacimientos.

Estas características complejas son un desafío para los geólogos que muchas veces al no entenderlos llegamos a conclusiones fáciles distanciando las probabilidades de ampliar los análisis para definirlos como rocas reservorio.

Las cuencas subandinas emergentes del Jurásico y Carbonífero-Pérmico conformadas por rocas carbonatadas denominadas Grupo Pucará y Grupos Tarma - Copacabana respectivamente, son potenciales reservorios y en algunos sectores presentan características petrofísicas muy importantes, por lo cual se recomienda que deben ser estudiadas con mayor detalle para confirmarlas como objetivos reservorios primarios.

Las características petrofísicas y su distribución en las cuencas subandinas del Grupo Copacabana-Tarma fueron presentados en los trabajos publicados en el Ingepet 2011 "Trabajo preliminar sobre los Carbonatos en la Cuenca Ucayali - Madre de Dios" y en el Congreso Geológico Peruano 2012 "Las Dolomías y restos orgánicos del Carbonífero Superior - Pérmico inferior en las cuencas Ucayali-Madre de Dios".

En las cuencas Ucayali-Madre de Dios se identificaron 7 ciclos y un ambiente de depósito carbonatado de plataforma interna y externa, siendo hasta el momento confirmado por el pozo Mapi y en los pozos de la Estructura Mipaya, estos últimos probados y actualmente en producción en conjunto con los niveles clásticos de Noi-Ene.

El Pucará ha sido presentado en varios trabajos y las zonas de mayor interés están en las cuencas Marañón, Huallaga, Santiago y Ucayali (Figura N.º 1), obteniéndose hasta el momento solo resultados como roca generadora y en el caso de roca reservorio se obtuvo algunos rastros de gas en dos pozos de la cuenca Marañón (Loreto y Shanusi) (Figura N.º 2), pertenece a un modelo sedimentario de rampa - homoclinal cuyo máximo depósito está en la actual zona de la Cordillera Norte y se levanta hacia el sur y este.

La interpretación convencional de la sísmica 2D y 3D no es un método ideal predictivo para caracterizar reservorios carbonatados por la complejidad y heterogeneidad de

estos sistemas. Se propone analizar sísmicamente los dos grupos de sistemas carbonatados que pueden tener un efecto combinado de variaciones de facies deposicionales y alteraciones diagenéticas, las cuales juegan un rol importante en las variaciones de velocidades sísmicas y en la impedancia acústica (Masaferro JL, Bourne R., Jauffred JC., 2005).



Figura N.º 1. Mapa índice.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

Este estudio se realizó con el apoyo de la información existente en publicaciones anteriores que contenían registros de pozos, secciones de campo, líneas sísmicas e interpretaciones de diferentes profesionales.

La metodología utilizada ha sido integrar la información de perfiles eléctricos de pozos, secciones de campo, líneas sísmicas, resultados de análisis geoquímicos, palinológicos, bioestratigráficos, análisis de muestras de petróleo, reconstrucciones paleogeográficas, reconstrucción de sec-

ciones evolutivas, secciones balanceadas, mapas de porosidad, mapas de espesores netos, ubicación de vías de migración y de las cocinas de generación de hidrocarburos, ubicación de estructuras, definición de la formación de estas estructuras asociadas a las tectónicas que han actuado en el Perú.

Con toda la información mencionada y consultada se ha realizado la discusión e interpretación para poder concluir en las zonas que podrían ser importantes para el almacenamiento de hidrocarburos en los reservorios carbonatados del Jurásico y Paleozoico en las cuencas de la Faja Subandina.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Geología

##### 3.1.1. Paleozoico - Grupo Tarma

La primera gran transgresión carbonatada de alcance regional se inicia en el Carbonífero superior con un depósito basal de areniscas calcáreas, de color verde, de grano medio a fino, bien seleccionadas, gradando hacia la parte superior a limolita y lodolita (Vásquez 1990).

Hacia el noreste y este de la cuenca Ucayali (pozos La Colpa, Shahuinto, Platanal), se depositaron una alternancia de arcillas, areniscas, lutitas y algunos niveles de mudstone, wackstone (3 ciclos) (Vásquez, 1990).

En la zona oeste de las cuencas Ucayali y Madre de Dios (Figura N.º 3), se describen niveles de areniscas basales transgresivas, luego depósitos lutáceos, arcillosos, acumulación de restos orgánicos, wackstone (4 ciclos), las calizas son de color gris claras, areniscas arcillosas marrón clara, presencia de Neospirifer, lutitas gris oscuras con delgadas capas de calizas, algunas calizas son masivas, grises en la base y blancas a gris clara hacia el tope, escasas intercalaciones de lutitas oscuras en la base, en la parte superior se intercalan con dolomías que fueron probadas al punzado en los pozos San Martín y La Colpa obteniéndose pocas cantidades de petróleo y gas (para el análisis de productividad debemos considerar que estas dolomías fisuradas han sido invadidas y selladas con el lodo de perforación y la cementación).

##### 3.1.2. Paleozoico - Grupo Copacabana

El grupo Copacabana del Pérmico inferior tiene niveles carbonatados continuos y con mayores espesores hacia el oeste y sur, las calizas de grano grueso Grainstone a Wackstone presentan intercalaciones de dolomías, con coloraciones claras de beige a marrón claro (3 ciclos), ocurren acumulaciones de restos orgánicos indicativos de zonas de alta energía (Quiñones 1990). El espesor total promedio es de 600 m (Copacabana).

En el este y noreste de la cuenca Ucayali, las dolomías presentan al tope coloraciones rosáceas, indicadores de zonas someras, de una plataforma carbonatada (2 ciclos).

El máximo eje depositacional estaba ubicado en la actual Cordillera Andina (NW-SE somerizándose hacia el este correspondiente a la actual posición de los bloques

57, 88 y alrededores, con continuas basculaciones muy suaves que permitían la dolomitización, en la parte superior de la columna. En las secciones descritas en la Cordillera (al oeste) en las hojas de Vilcabamba, Ampay, Abancay, Andahuaylas y cerca del cerro Macchu Picchu se describieron secciones incompletas desde 600 m hasta 2100 m (Grupo Copacabana más el Grupo Tarma).

Hacia el sureste en la cuenca Madre de Dios y cerca al límite con Bolivia los pozos Pariamanu y Puerto Primo muestran una alternancia de Yeso y Anhidrita en diferentes niveles de los Grupos Copacabana y Tarma que son producto de esporádicas somerizaciones, lo cual nos indica que estamos cerca al límite de la cuenca, esta interpretación fue confirmada con los resultados encontrados en los pozos Pando y Manuripe en la cuenca Madre de Dios en Bolivia.

##### a) Marco tectónico

Delimitado al este el Macizo Brasileño y al sur el Macizo de Arequipa.

Bajo este marco ingresa el mar carbonatado del Carbonífero superior-Pérmico inferior desde el sur hacia el norte y del oeste al este, ubicando su eje de máximo depósito con dirección NW-SE en la zona correspondiente a la actual Cordillera de los Andes.

##### b) Ambiente de depósito

El ambiente de depósito de los Grupos Copacabana – Tarma corresponde a un depósito de mar abierto, es el mar Panthalassico que ingresa en un área previamente colmatada con depósitos marinos del Paleozoico inferior y deformados posteriormente por la Tectónica Eohercínica, que permitió luego el depósito continental-marino del Carbonífero inferior, lo cual encuadra un fondo marino muy somero para la entrada del mar Panthalassico y se depositan los carbonatos en una plataforma interna muy amplia que abarca desde la actual cordillera andina hacia el este hasta llegar al Escudo Brasileño, con una extensión este - oeste de 400 km aproximadamente, mientras que en la dirección NW-SE llega a tener más 1200 km de extensión (Vásquez, 2011 y 2012).

Este ambiente es consecuencia del análisis sedimentológico de la litología descrita en las secciones de campo y pozos.

##### 3.1.3. Jurásico - Grupo Pucará

Esta segunda transgresión marina carbonatada de gran importancia en distribución regional y con un importante espesor ingresa desde el Ecuador y se inicia a finales del Triásico prolongándose hasta el Jurásico medio; en general la litología está compuesta de calizas, intercaladas con niveles de lutitas y limos.

Su máximo eje de depósito está en la zona de la actual cordillera andina norte donde presenta los 3 niveles descritos ampliamente por diversos autores (Wilson, Reyes, Santini, Tafur y otros, reconociéndose a las formaciones Chambará, Aramachay y Condorsinga (datados desde el Triásico superior hasta el Jurásico medio).

En la zona oriental que incluye el oeste de la cuenca Marañón (Figura N.º 2) y Ucayali (Figura N.º 3) así como las cuencas intramontanas del Huallaga y Santiago se ha dividido el Pucará en 4 niveles que incluye adicionalmente a las clásicas 3 formaciones un nivel suprayacente que se ha registrado en secciones de campo y pozos, compuesto de mudstone, areniscas con arcillas y anhidritas, que corresponde a la etapa final del depósito del mar de Pucará y la litología indica que son depósitos de regresión y cambio de ambiente de marino a continental.

La zona de interés en exploración de hidrocarburos del Grupo Pucará está ubicado al este en las cuencas intramontanas del Santiago, Huallaga donde se encuentra bien desarrollado en sus cuatro niveles, al este de estas cuencas en el margen occidental de la cuenca Marañón se perforaron los pozos Loreto, Shanusi, Capahuari Norte y Carmen donde se identificó el Pucará, correspondiente al Pucará 4 y a la Formación Condorsinga depositados durante el Jurásico medio. En la cuenca Ucayali igualmente, el Pucará está restringido a la zona Occidental y al norte de la cuenca, se han registrado dolomías, micritica en los pozos Chio, Oxapampa y varias secciones de campo que nos describen calizas micriticas (mudstone) e intercalaciones de areniscas y lutitas correspondientes a los niveles superiores del Grupo Pucará.

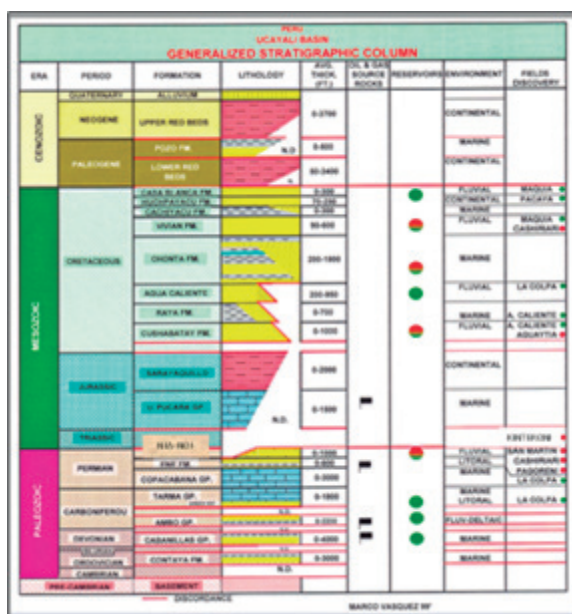


Figura N.º 2. Columna Generalizada de la Cuenca Marañón.

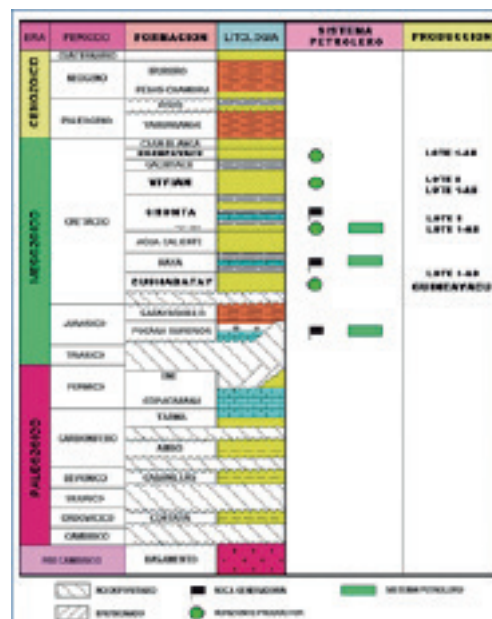


Figura N.º 3. Columna Generalizada de la Cuenca Ucayali.

#### a) Marco Tectónico

Delimitado al oeste por Alto de la Costa y el Macizo de Arequipa, al este por el levantamiento Paleozoico en la actual llanura amazónica y el Escudo Brasileño, al sur por el levantamiento del Paleozoico inferior y superior a partir del eje del arco de Fitzcarrald que va al este desde el río Purús hasta el oeste en Paracas, con algunas abras que permiten eventualmente el paso del mar del Pucará hacia el sur del margen oeste de la Cuenca Ucayali y Madre de Dios.

Bajo este marco ingresa el mar carbonatado del Triásico superior – Jurásico medio desde el norte y se deposita con dirección NW-SE en la zona correspondiente a la actual Cordillera Norte y Central de los Andes (Eduardo, 2001).

#### b) Ambiente de depósito

El ambiente de depósito del Grupo Pucará sucede en una cuenca tipo rift, la ruptura sucede en un continente con depósitos paleozoicos, luego del retiro del mar Panathalassico del Carbonífero – Pérmico y sus posteriores depósitos mixtos-continuales.



Esta cuenca, que permite la entrada del mar desde el norte – noroeste hacia el sur, llegando a depositar hasta la zona de Huancavelica – Ayacucho, inicia su entrada en el Triásico superior y la regresión sucede en el Jurásico medio, tiempo en el cual se depositan sedimentos calcáreos en su mayor parte, con intercalación de sedimentos clásticos, parte de los cuales son lutitas que generan hidrocarburos en algunas zonas.

### 3.2. Petrofísica

La evaluación petrofísica realizada hasta el momento en las calizas del Jurásico y Paleozoico es incompleta debido a que es necesario usar datos de corona para ajustar bien la porosidad y permeabilidad de acuerdo a los tipos de facies que se depositan en los intervalos carbonatados que se evalúan; los intervalos evaluados hasta el momento no son representativos, lo cual no permite realizar análisis detallados que permitan definir el real valor de las columnas carbonatadas que son motivo del presente estudio.

Hasta el momento solo se ha medido la porosidad (12% al 15%) y permeabilidades menores a un darcy, en algunas coronas del Paleozoico, las cuales representan el 15% del espesor total de los Grupos Copacabana – Tarma, mientras que en las calizas jurásicas solo se ha calculado un 2% de porosidad, en función de los pocos metros perforados y con la poca información de perfiles que se ha podido registrar (Vásquez, 1990 y Eduardo, 1991).

Algunos datos de porosidad obtenidos en los pozos que han atravesado los Grupos Copacabana – Tarma están cercanos al 15% y posiblemente muchos datos estén asociados a fisuras y fracturas, no ha sido posible tener buenas mediciones debido al daño que se ha ocasionado en los reservorios al perforar, muchas veces se observa ensanchamiento con el caliper debido a las malas condiciones del lodo de perforación (Lucía, 2006).

En los carbonatos jurásicos se han observado porosidades de hasta 20% (posibles Vugs en Dolomías) con presencia de shows de gas (cuenca Maraño), no siendo representativos estos resultados ya que son de presencia muy local, los niveles importantes no se perforaron.

### 3.3. Geofísica

Para la identificación de los ciclos deposicionales se necesita aplicar técnicas de procesamiento en la sísmica 3D de los datos stack y migrados, cuando se combinan ayudan a identificar eventos significativos (Figura N.º 4). El resultado es un cubo de atributos que pueden ser analizados e interpretados con más objetividad que la interpretación de horizontes interpretados convencionalmente (Masafferro JL, Bourne R., Jauffred JC., 2005)

La identificación de la clasificación de las plataformas carbonatadas en sísmica:

- No es solo un problema académico o semántico
- Para los programas de exploración y desarrollo tiene un significado particular que se realice una detallada interpretación sísmica de la arquitectura de facies

- Es relevante para el análisis de alta resolución la evolución espacial /temporal de las plataformas (Pomar L , 2007)

Toda interpretación realizada en la sísmica debe ser corroborada con la perforación de pozos para tener la certeza de la interpretación (Esteban, 2012), se han perforado pozos en las cuencas Maraño, Ucayali – Madre de Dios que han atravesado los niveles calcáreos mencionados y necesitan ser re-interpretados.

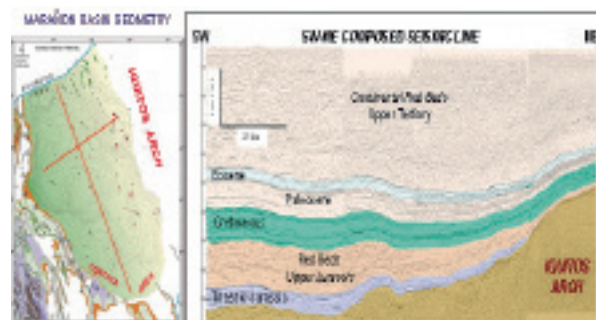


Figura N.º 4. Sección sísmica en la cuenca Maraño.

## IV. CONCLUSIONES

- Los depósitos carbonatados son más variados que los silicoclásticos porque existen mayores diferencias en los factores genéticos.
- El ambiente de depósito de los Grupos Copacabana – Tarma es marino con presencia de una extensa plataforma interna (internal platform), slope, reef?, ubicado en la actual Cordillera Andina y una plataforma externa (open marine) , ubicada al Este de la actual Cordillera.
- El ambiente de depósito del Grupo Pucará es marino, es una cuenca de tipo rift.
- En las cuencas Ucayali – Madre de Dios está delimitada la zona de dolomías (Shelf) y de acumulación de restos orgánicos (slope).
- Las rocas reservorio de las calizas del Grupo Copacabana – Tarma son Dolomías, Grainstone, oolitos, restos orgánicos (algas y corales).
- Las rocas reservorios de las calizas del Grupo Pucará son Dolomías, Grainstone, Skarns
- En las cuencas Maraño y Ucayali solo se han perforado las capas del Pucará IV, que pertenecen a la Formación superior del Grupo Pucará que incluye areniscas, yeso, anhidrita y algunos niveles de dolomías y mudstone.
- Es necesario re-estudiar muchas de las secciones de campo en especial aquellas que describen presencia de restos orgánicos (algas, corales, braquiópodos).

## V. AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a todos los geólogos que con las publicaciones de sus trabajos de campo, información

de pozos y la información sísmica de todo el Perú, realizadas a través de equipos formados por empresas del estado y empresas privadas permiten acceder a esta información y poder hacer una interpretación regional de los grupos Copacabana-Tarma y del Grupo Pucará.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AAPG Memoir 69. (1997). *Reservoir Quality Prediction in Sandstone and Carbonates*.
2. Eduardo, H. (1991). *Estudio paleogeográfico de las cuencas subandinas del Perú*.
3. Eduardo, H. (2001). *Actualización del estudio paleogeográfico de las cuencas subandinas del Perú*.
4. Esteban M., Gerard J. (2012). *Field Seminar for Seismic interpreters carbonate & turbidite sedimentation \_ Almeria Basins*.
5. J. L. Wilson, C. Jordan. (1983). Middle Shelf Environment, AAPG Memoir 33 .
6. Quiñones, J. (1990). *Estudio palino estratigráfico del Paleozoico Pongo de Mainique*.
7. Pomar, L. (2007). *Applied Carbonate Geology: Carbonate Facies & Reservoirs*.
8. Vásquez, M. (1990). *Evaluación geológica y de reservorios potenciales por hidrocarburos en el Paleozoico de la región subandina del Perú*. UNMSM.
9. Vasquez, M. (2011). Trabajo preliminar sobre los carbonatos en la cuenca Ucayali – Madre de Dios VII. Ingepet 2011.
10. Vasquez, M. (2012). Las dolomías y restos orgánicos del Carbonífero Superior - Pérmico inferior en las cuencas Ucayali-Madre de Dios - XVI Congreso Geológico Peruano.